

УДК 621.565.94, 66.045

Г. Е. Каневец, А. В. Кошельник, С. Д. Суима, О. В. Алтухова  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,  
г. Харьков, Украина

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ

*Розглянуто шляхи підвищення ефективності роботи пластинчастих теплообмінників; визначено незалежні змінні при оптимізації. Проаналізовано переваги структурно-модульного підходу при розробці алгоритмів та програм оптимізації. Розглянуто програму ОПТО-2010 для оптимізації пластинчастих теплообмінників.*

*Рассмотрены пути повышения эффективности работы пластинчатых теплообменников; определены независимые переменные при оптимизации. Проанализированы преимущества структурно-модульного подхода при разработке алгоритмов и программ оптимизации. Рассмотрена программа ОПТО-2010 для оптимизации пластинчатых теплообменников.*

*In our work methods of improvement of the effectiveness plate heat exchangers were analyzed, the parameters optimization were defined. The advantages of structural and modular approach in the process of algorithms and software optimization were researched. The program OPTO-2010 for optimization of plate heat exchangers were analyzed.*

Пластинчатые теплообменники являются важным элементом множества энергетических, энерготехнологических, технологических и транспортных установок и систем и отличаются разнообразием конструкций в зависимости от области применения, мощности, вида теплоносителя и других параметров [1 – 3].

В связи с этим актуален вопрос повышения их эффективности путем оптимизации конструктивных параметров (тип пластины, ее материал, количество ходов в аппарате по теплоносителю, воспринимающему тепло (далее теплоноситель В), и теплоносителю, отдающему тепло (теплоноситель О), количество рядов аппаратов в теплообменнике, схем компоновки рядов в комплексах и др.), а также режимных параметров (температуры и расходы теплоносителей). Такое многообразие параметров ставит перед оптимизацией сложную задачу – перебор множества вариантов и подбор наиболее оптимального для данного набора начальных переменных, а также учет множества специфических ограничений. Также необходима сортировка полученных вариантов по возрастанию либо убыванию определенного критерия оптимальности, а возможно и некоторой комбинации этих критериев. В данной ситуации разработка программ для расчета и оптимизации теплообменников становится не только необходимым условием подбора наиболее оптимального варианта теплообменника, но и подготавливает универсальный инструмент для проведения вычислительного эксперимента, позволяющего оценить влияние каждой независимой переменной на эффективность теплообменника в целом.

Рассмотрим программу для расчета и оптимизации пластинчатых теплообменников, разработанную на основе системного структурно-модульного подхода, предложенного в [4].

Применение структурно-модульного подхода при разработке алгоритмов и программ имеет следующие преимущества:

- возможность доработки и расширения алгоритма и программы, добавления новых компонентов в уже существующие блок-схемы, и наоборот, возможность использования отдельных блок-схем как самостоятельных компонентов;

- возможность замены отдельных блок-схем без изменения общей структуры алгоритма (например, при введении новых видов теплообменников, изменении методики их расчета и т.п.);
- возможность объединения алгоритмов и включения их в алгоритмы расчета комплексов и систем;
- наглядность, возможность сопровождения и доработки алгоритмов и программ без участия авторов.

Также данная программа позволяет не только рассчитать отдельный теплообменный аппарат, но и просчитать различные компоновки аппаратов в теплообменнике – любое количество рядов аппаратов по теплоносителю В и теплоносителю О, схемы соединений рядов типа «волна» и «пила».

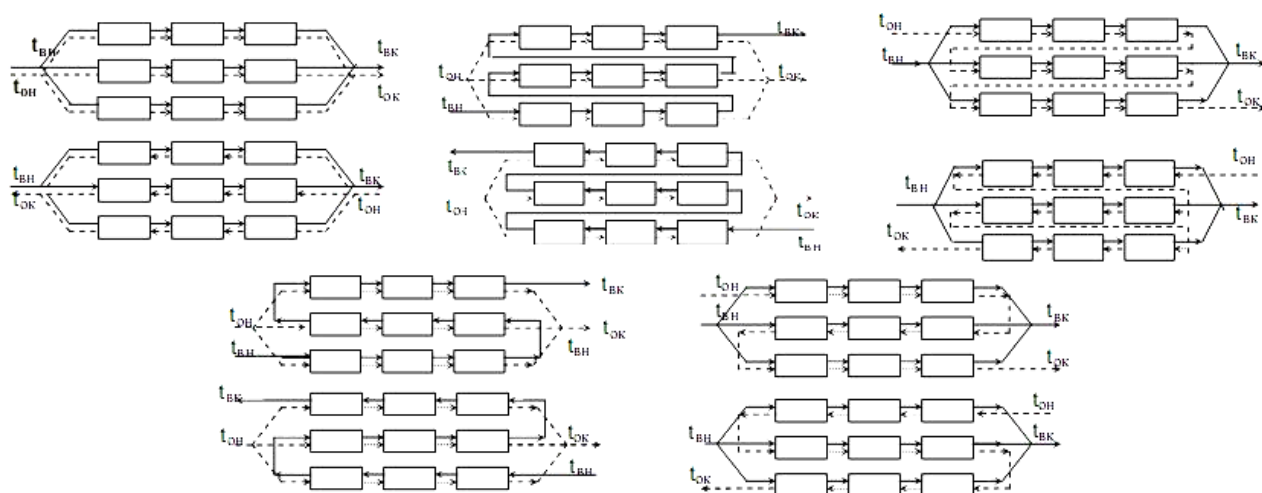


Рисунок 1 – Схемы соединения теплообменных аппаратов в теплообменники

В аппарате теплоносители В и О также могут разбиваться на разное число параллельных каналов. Примеры схем движения теплоносителей в аппаратах представлены на рис. 2.

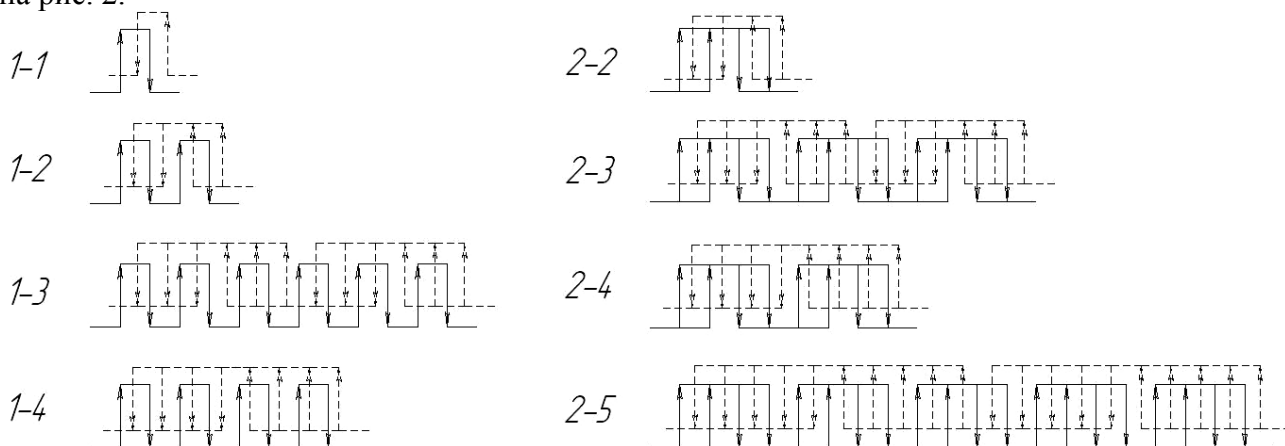


Рисунок 2 – Схемы тока сред в аппаратах

В программе предусмотрено использование ряда ограничений: вид пластин, материал пластин, допустимое гидравлическое сопротивление (в случае, если теплообменник выбирается под существующий нагнетатель). Также в программу легко можно добавить и другие лимитирующие параметры, такие как ограничения по габаритам и массе теплообменника, необходимому КПД, стоимости и др.

Кроме конструктивных параметров теплообменника оптимизация также может

проводиться и по режимным параметрам. В случае нагревателя при заданных параметрах теплоносителя В (начальная и конечная температуры, расход или тепловая мощность) можно варьировать конечной температурой и расходом теплоносителя О. При увеличении расхода теплоносителя его конечная температура увеличивается, при уменьшении расхода – снижается. Для охладителя или конденсатора при заданных параметрах теплоносителя О оптимальный вариант можно подобрать, изменяя конечную температуру и расход теплоносителя В.

Используемый в программе алгоритм перебора вариантов позволяет просчитать все возможные варианты теплообменников, что позволяет проследить влияние нескольких независимых переменных на экономическую и техническую эффективность работы теплообменника, его стоимость и др. Также возможна сортировка полученных результатов по возрастанию либо убыванию одного из показателей эффективности теплообменника. Отсортировав теплообменники и выделив некоторое количество наилучших вариантов исходя из определенного критерия оптимальности, можно повторить сортировку и выбрать наилучший вариант исходя из другого критерия. Так, к примеру, проведя сортировку по стоимости теплообменника и выбрав наиболее дешевый вариант, можно из некоторого количества наилучших вариантов выбрать тот, при котором годовые затраты на эксплуатацию будут наименьшими.

Для написания программы ОПТО-2010 был выбран язык php, а в качестве базы данных использовалась БД mysql. Основанием для выбора связки php-mysql послужили следующие преимущества:

- исходный код программы располагается на сервере, что позволяет проводить все вычисления на высокопроизводительном оборудовании за секунды и избежать загрузки вычислительных машин с малой производительностью, которые обычно используются на предприятиях и в институтах;
- язык php – скриптовый, то есть исходный код, написанный на нем, не нужно компилировать, это делает сервер "налету", что избавляет от дополнительных затрат времени на перекомпиляцию кода при внесении любых изменений в программу;
- стоит упомянуть удобный отчет об ошибках, благодаря которому отладка программы значительно ускоряется;
- немаловажен и тот факт, что программа централизована, доступ к ней можно получить из любой точки (в которой доступен интернет), при этом получая самую последнюю версию продукта без необходимости скачивания программы;
- в условиях жесткой конкуренции на рынке необходима быстрая реакция на новинки (новые типы пластин, применение особых теплоносителей), внедрение их в вычислительный комплекс и как следствие в процесс производства; любые изменения в программу вносятся в кратчайшие сроки;
- в связи со случаями нечестной конкуренции очень важным является защита исходных кодов и данных, которые компании считают секретной информацией; так как код расположен удаленно, то декомпилировать и анализировать просто нечего, а защита серверов (linux, FreeBSD), на которых будет выполняться программа, имеет высокий приоритет, что исключает попытку взлома со стороны серверной части.

На рис. 3 представлен общий вид стартовой страницы программы ОПТО-2010. Здесь выбирается тип применяемой пластины (возможен перебор всех типов пластин), тип аппарата (нагреватель-охладитель или конденсатор), вид теплоносителя О и теплоносителя В, в зависимости от типа аппарата производится ввод начальных данных.

Программа оценивает набор введенных пользователем начальных переменных и проводит расчет по одному из 11 вариантов для нагревателя-охладителя и по одному из 6 вариантов для конденсатора. Оптимизация по режимным параметрам проводится, если не указаны температура и расход (тепловая нагрузка) одного из теплоносителей.

Помощь Доступные материалы пластин Экспертные настройки Экономика Управление выводом

Тип пластины 0,2

Движение ТН противоток

Тип аппарата нагреватель(охладитель)

Горячий ТН Холодный ТН

Вид ТН вода вода

t вход 150 15 С

t выход 70 60 С

Расход кг/с

Давление нагнетателей кПа

Тепловая мощность 500 кВт

run

Рисунок 3 – Стартовая страница

Наряду с возможностью выбора пластины, возможно задание определенного набора перебираемых материалов пластин. Меню выбора материалов пластин показано на рис. 4.

Помощь Доступные материалы пластин Экспертные настройки Экономика Управление выводом

Список доступных материалов:

|                                     |             |  |
|-------------------------------------|-------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 06ХН28МДТ   | сварные конструкции, работающие при температурах до 80 °С в серной кислоте различных концентраций, за исключением 55 %-ной уксусной и фосфорной кислот.  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 08кп        | Сталь конструкционная углеродистая качественная. для прокладок, шайб, вилков, труб, а также деталей, подвергаемых химико-термической обработке — втулок, проушин, тяг.   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 10Х17Н13М2Т | Сталь коррозионно-стойкая обыкновенная. сварные конструкции, работающие в средах повышенной агрессивности, предназначенные для длительных сроков службы при 600 °С.; сталь аустенитного класса   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 10Х17Н13М3Т | Сталь коррозионно-стойкая обыкновенная. сварные конструкции, работающие в средах повышенной агрессивности, предназначенные для длительных сроков службы при 600 °С.; сталь аустенитного класса   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | ВТ1-0       | для изделий с высокой прочностью при достаточной пластичности и вязкости, высоким сопротивлением малым пластическим деформациям, хрупкому и усталостному разрушению, применяемых в машиностроении, приборостроении и инструментальной промышленности, для изготовления изделий криогенной техники  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | ВТ1-00      | слабонагруженные детали сложной конфигурации, работающие при температуре от -253 до 150°   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 12Х18Н10Т   | 08Х18Г8Н2Т, 10Х14Г14Н4Т, 12Х17Г9АН4, 08Х22Н6Т, 08Х17Т, 15Х25Т, 12Х18Н9Т. детали, работающие до 600 °С. Сварные аппараты и сосуды, работающие в разбавленных растворах азотной, уксусной, фосфорной кислот, растворах щелочей и солей и другие детали, работающие под давлением при температуре от —196 до +600 °С, а при наличии агрессивных сред до +350 °С.; сталь аустенитного класса |

Рисунок 4 – Меню выбора материалов пластин

В меню «Экспертные настройки» (рис. 5) возможно установление следующих параметров: учитывать загрязнения, ввод запаса, установка фиксированного значения теплоотдачи для теплоносителей О и (или) В, установка КПД аппарата и нагнетателей.

В меню «Экономика» (рис. 6) возможна установка стоимостей энергоносителей, расчетного периода, а также некоторых коэффициентов, таких как:

- коэффициент удельной стоимости монтажных работ как доли цены теплообменного аппарата;
- коэффициент увеличения цены аппарата за счет транспортных и заготовительно-складских работ;
- коэффициент удельной стоимости обвязки аппаратов как доли цены теплообменника и др.,

а также указаны предельные значения этих величин.

Помощь Доступные материалы пластин Экспертные настройки Экономика Управление выводом

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Учитывать загрязнения                     | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Потери                                    | 5 %                                 |
| Запас                                     | 0 %                                 |
| Запас максимальный                        | 10 %                                |
| Коэффициент допустимого уменьшения запаса | 0                                   |
| Альфа горячего теплоносителя              |                                     |
| Альфа холодного теплоносителя             |                                     |
| КПД аппарата                              | 100 %                               |
| КПД нагнетателя по горячему тн            | 100 %                               |
| КПД нагнетателя по холодному тн           | 100 %                               |

Холодный ТН  
вода  
15 °C  
60 °C  
кг/с  
кПа  
кВт

Рисунок 5 – Меню «Экспертные настройки»

Помощь Доступные материалы пластин Экспертные настройки Экономика Управление выводом

Экономические показатели и цены на энергоносители

|   |      |        |
|---|------|--------|
| Стоимость электроэнергии  | 1    | 1кВтч  |
| Стоимость горячего теплоносителя  | 1    | 1м3    |
| Стоимость холодного теплоносителя   | 1    | 1м3    |
| Коэффициент удельной стоимости монтажных работ как доли цены теплообменного аппарата Kma            | 0.1  | 0-0.2  |
| Коэффициент увеличения цены аппарата за счёт транспортно и заготовительно – складских расходов Ktzc | 0.1  | >1     |
| Коэффициент удельной стоимости обвязки аппаратов как доли цены теплообменника Koto                  | 0.15 | 0-0.25 |
| Коэффициент удельной стоимости металлоконструкций как доли цены теплообменника Kmkto                | 0.1  | 0-0.15 |
| Коэффициент удельной стоимости фундамента как доли цены теплообменника Kfto                         | 0.1  | >=0    |
| Коэффициент отчислений на амортизацию, текущие и капитальные ремонты, содержание нагнетателей Kknv  | 0.1  | >0     |
| Коэффициент отчислений на амортизацию, текущие и капитальные ремонты, содержание нагнетателей Kkno  | 0.1  | >0     |
| Kkno  | 1    |        |
| Kknv  | 1    |        |
| Коэффициент отчислений на амортизацию, текущие и капитальные ремонты, содержание теплообменника En  | 1    | 1/год  |
| Коэффициент отчислений на амортизацию, текущие и капитальные ремонты, содержание теплообменника Kto | 0    | >=0    |
| Расчетный период  | 1    | лет    |

Холодный ТН  
вода  
15 °C  
60 °C  
кг/с  
кПа  
кВт

Рисунок 6 – Меню «Экономика»

## Выводы

Рассмотренная программа оптимизации пластинчатых теплообменников позволяет решить ряд задач, а именно:

- подобрать оптимальный вариант теплообменника, просчитав все возможные варианты;
- отсортировать полученные результаты в порядке возрастания или убывания одного из критериев эффективности, оценить влияние того или иного параметра на эффективность работы теплообменника в целом;

- рассчитать не только наиболее оптимальный теплообменный аппарат, но и оптимальную схему расположения аппаратов в теплообменнике;
  - проводить оптимизацию не только конструкционных, но и режимных параметров;
  - вводить ограничения по определенным величинам.
- Преимуществами программы также являются:
- расположение программы на сервере, что обеспечивает доступ к ней с любого компьютера, подключенного к интернету, а также исключает проведение ресурсоемких расчетов на клиентском компьютере;
  - примененный при разработке алгоритма и программы структурно-модульный подход позволяет легко дорабатывать и изменять их, использовать структурные элементы как самостоятельные расчетные программы.

### Список литературы

1. Пластинчатые теплообменные аппараты: Каталог УкрНИИХиммаш // Сост. Л.М. Коваленко. – М.: Цинтихимнефтемаш, 1983. – 51 с.
2. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.А., ХАВИН Г.Л. Пластинчатые теплообменники в промышленности: учеб. пособие. – Х.: НТУ «ХПИ», 2004. – 232 с.
3. Каневец Г. Е. Теплообменники и теплообменные системы. – Киев: Наук. думка, 1981. – 272 с.
4. Каневец Г. Е. Обобщенные методы расчета теплообменников. – Киев: Наук. думка, 1979. – 352 с.